

УДК 693.5:624.43

ТРИВАЛА МІЦНІСТЬ З'ЄДНАНЬ БЕТОНІВ ПРИ ДІЇ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Кандидати техн. наук О.М. Пустовойтова, С.М. Камчатна, Н.О. Псурцева,
асп. Г.М. Литвинова

**ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЙ БЕТОНОВ ПРИ ДЕЙСТВИИ
СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

Кандидаты техн. наук О.М. Пустовойтова, С.Н. Камчатная, Н.А. Псурцева,
асп. А.М. Литвинова

CREEP RUPTURE STRENGTH OF CONCRETE BOND UNDER STATIC LOADING

Ph.D. O. Pustovoitova, S. Kamchatna, N. Psurtseva, postgraduate G. Lytvynova

У статті подано дані про експериментальні дослідження міцності з'єднання бетонів акриловими клеями при дії тривалих розтягальних та стискальних статичних навантажень. Проаналізовано роботи з дослідження міцності з'єднань бетонів, які були зроблені вітчизняними й закордонними вченими. Наведено методику та результати експериментальних випробувань з визначення тривалої міцності бетонів, з'єднаних акриловими клеями.

***Ключові слова:** тривала міцність, акрилові клеї, методи визначення тривалої міцності, статичне навантаження.*

В статье представлены данные об экспериментальных исследованиях прочности соединения бетонов акриловыми клеями при действии длительных растягивающих и сжимающих статических нагрузок. Приведен анализ работ по исследованию прочности соединений бетонов, которые были сделаны отечественными и зарубежными учеными. Приведены методика и результаты экспериментальных испытаний по определению длительной прочности бетонов, соединенных акриловыми клеями.

Ключевые слова: *длительная прочность, акриловые клеи, методы определения длительной прочности, статическая нагрузка.*

Data concerning experimental research of the strength of bonding concretes by means of acrylic glues under long lasting straining and compressing static loadings are presented in the article. The urgency of this research is stipulated by the necessity to carry out rigid and strong bonding of concrete samples within a short time while reconstructing buildings and constructions. To provide general strength of a building under reconstruction it is necessary to know mechanical strength characteristics of glue bond of concrete under long-term permanent loadings as well as to know design resistance of concrete bond by acrylic glue which must provide trouble-free performance of glue bond during all the service life of a construction. The analysis of the works on the investigation of the concrete bond strength made by home and foreign scientists are presented. The method and results of experimental tests on the determination of glued concrete load-carrying ability under straining samples bond by acrylic glue are presented.

Keywords: *Creep rupture strength, acrylic glues, methods of creep rupture strength determination, static loading.*

Вступ. Для забезпечення загальної міцності та стійкості споруд необхідне знання міцнісних характеристик клейового з'єднання старого бетону зі старим при тривалій дії постійних навантажень. Тому з достатньою надійністю варто знати розрахунковий опір з'єднання бетонів на акриловому клеї, яке повинно забезпечувати безаварійну роботу клейового з'єднання протягом усього терміну служби споруди.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. При проведенні робіт з ремонту та реконструкції споруд необхідно забезпечувати безаварійну роботу споруди після реконструкції. Це можливо зробити за допомогою клеїв на акриловій основі, які забезпечують міцність з'єднання бетонів при дії тривалих розтягальних та стискальних статичних навантажень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах з дослідження тривалої міцності [3-13] установлено, що

навантажений до деякого рівня бетон через певний час руйнується. При навантаженні менше від деякого граничного значення R_{bu} руйнування не відбувається, і ця величина є межею тривалої міцності [3].

Визначення мети та задачі дослідження. Актуальність поданих досліджень полягає в необхідності при ремонті, реконструкції, а також будівництві будинків і споруд у короткий строк здійснити міцне й тверде з'єднання бетонних і залізобетонних елементів. Ця проблема може бути успішно вирішена за рахунок використання акрилового клею, що дає змогу спростити технологічний процес і зменшити строк введення конструкцій в експлуатацію [1, 2].

Основна частина дослідження. Відповідно до даних ЦНИИСКА [4], розрахунковий опір клейових з'єднань приймається:

$$R_p = \frac{R}{k_1} k_{д.л.}, \quad (1)$$

де R – нормативний опір, встановлюється шляхом випробування зразків з урахуванням мінливості показників;

k_l – коефіцієнт надійності для клейових з'єднань, прийнятий рівним 1,2 [4];

$k_{\partial.л.}$ – коефіцієнт тривалої міцності:

$$k_{\partial.л.} = \frac{R_{\partial.л.}}{R_{вр.}}, \quad (2)$$

де $R_{\partial.л.}$ – тривала статична міцність;

$R_{вр.}$ – тимчасовий опір.

Тривала статична міцність клейових з'єднань залежить від величини прикладеного навантаження.

При визначенні тривалої міцності часто використовується метод далекої екстраполяції експериментальних даних. Це потребує визначення залежності між напругою в клейовому шві й терміном служби з'єднання. Дослідження з визначення залежності між довговічністю й напругою розвиваються в напрямку накопичення експериментальних даних і подальших теоретичних узагальнень. Теоретичні залежності між довговічністю й напругою ретельно перевіряються експериментальним шляхом, особливо вбік екстраполяції.

Прикладом залежності довговічності від напруги може бути формула [10]

$$\tau = A \cdot \sigma^{-B}, \quad (3)$$

де τ – безаварійний термін служби конст-рукції при напрузі в ньому σ ;

A і B – постійні величини.

Ця залежність виражається прямою лінією в напівлогарифмічній системі координат, тому вона зручна при екстраполяції даних на тривалі терміни служби.

Надалі Журковим С.Н. [11] була запропонована інша експонентна залежність:

$$\tau = A \cdot e^{-B\sigma}, \quad (4)$$

яка являє собою пряму в напівлогарифмічних координатах ($\sigma - \lg \tau$).

У [4] регламентується визначення тривалої міцності $R_{\partial.л.}$ для клейових з'єднань. Тривала статична міцність $R_{\partial.л.}$ визначається на рівні навантаження, під яким клейове з'єднання не руйнується протягом зазначеного часу. При цьому тривалість випробування обумовлена типом клею, уведенням клейового з'єднання й становить не менше $10^7 \dots 10^8$ с (120 доб й більше). За величиною тривалої статичної міцності визначається коефіцієнт тривалої міцності $k_{\partial.л.}$ як відношення тривалої міцності до короткочасної.

Таким чином, для визначення можливого розрахункового опору R_m клейового з'єднання старого бетону зі старим за пропонованою методикою необхідно:

а) на підставі великої вибірки короткочасних випробувань визначити нормативний опір клейового з'єднання;

б) досліджувати поведінку клейового з'єднання при впливі тривалого статичного навантаження й установити величину $R_{ml,t}$ і R_{ml} .

Дослідження з визначення несучої здатності склеєного бетону проводилися при розтягуванні на зразках, що являють собою бетонні (класу В15) напіввісімки, з'єднані акриловим клеєм. Задовільними випробуваннями вважали когезійне руйнування по бетону або комбіноване руйнування зразків, при якому досягається нормативна напруга в бетоні при розтягуванні. Тому максимальні навантаження будуть досягнуті на досить міцних зразках бетону. Товщина клейового шару склала 4 мм.

Випробування зразків виконувалося на розривній машині Михаеліса.

При статистичній обробці результатів випробувань був використаний спосіб сум. У результаті випробувань встановлена

величина розрахункового опору клейового з'єднання $R_{ml,t} = 1,24$ МПа.

При тривалих діях навантаження межа міцності всіх конструктивних матеріалів, у тому числі полімерів, має менше значення, ніж при короткочасному навантаженні. Експерименти з визначення тривалої статичної міцності виконувалися на установці, наведеній на рис. 1.

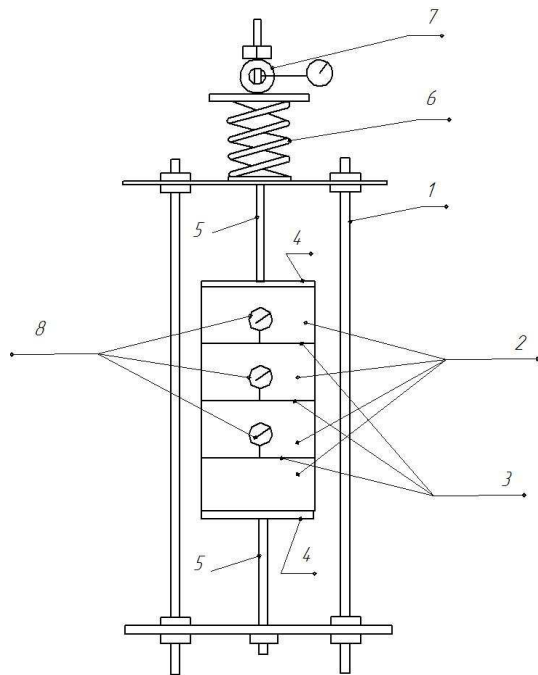


Рис. 1. Схема установки для проведення досліджень при тривалому статичному навантаженні:

1 – стоек; 2 – бетонні зразки; 3 – клейовий шар; 4 – металева пластина; 5 – тяга; 6 – силовa пружина; 7 – динамометр; 8 – годинний індикатор

Стойки 1 цієї установки розраховані на 5 т. Дослідження виконувалися на бетонних зразках 2 розміром $100 \times 100 \times 150$ мм, склеєних між собою по чотири штуки акриловим клеєм (склад 1:1:1,5) [1, 2]. Товщина клейового шару 3 склала 4 мм.

Навантаження передавалося на зразки тарованою пружиною 6. Величина навантаження встановлювалася за допомогою динамометра 7.

Крайні бетонні пластини були приклеєні до металевих пластин 4 перерізом 100×100 мм і товщиною 10 мм. По осі пластини був утворений отвір діаметром 14 мм і нарізана різь, у яку закріплювалися тяги 5. Іншим кінцем вони кріпилися на нижній опорі стенда. Потім у верхню металеву пластину закріплювали верхню тягу, що проходила через верхню опору стенда, пружину й динамометр. Після закінчення монтажу стенда гайкою 14 мм затягалася верхня тяга, а відлік навантаження вівся по індикатору. Після навантаження стенда замірявся час до руйнування зразків.

Установлено, що залежність часу до руйнування від напруги в клейовому з'єднанні має вигляд прямої, рівняння якої може бути подане у вигляді

$$\lg \tau = \lg A - B \cdot \lg x, \quad (5)$$

або

$$\lg \tau = 35,69 - 29,09 \cdot \lg R_{mt}. \quad (6)$$

Визначимо значення R у граничних умовах. Максимальне значення R приймемо при $\tau = 0$, тоді

$$35,69 = 29,09 \cdot \lg R_{mt},$$

звідки

$$R_{mt} = 16,85 \text{ кгс/см}^2 = 1,685 \text{ МПа.}$$

Значення R_{mt} при $\tau = 50$ років (438000 год) $R_{mt} = 10,7 \text{ кгс/см}^2 = 1,07 \text{ МПа}$, коефіцієнт тривалої міцності складе $k_{dl} = \frac{1,07}{1,59} = 0,67$.

Таким чином, розрахунковий опір клейового з'єднання становить $R_{ml,t} = \frac{1,59}{1,2} \cdot 0,67 = 0,89 \text{ МПа}$.

Отримані результати свідчать про те, що це з'єднання має необхідну несучу здатність, тому що розрахунковий опір

з'єднання бетонів класу В15 акриловим клеєм ($R_{ml,t} = 0,89$ МПа) перевищує розрахунковий опір бетону класу В15 на розтягання в 1,2 рази.

Міцність склеєних елементів, як встановлено в результаті короточасних випробувань, визначається тільки міцністю бетону й тому таке з'єднання можна (з певним ступенем вірогідності) розглядати як монолітне (незалежно від товщини клейового шва) [2, 6, 7, 12].

Такі передумови дають змогу визначати величину міцності старого бетону за залежністю, запропонованою А.В. Яшиним [13]:

$$R_{ml} = R_b(0,92 - 0,041g(t - \tau)), \quad (7)$$

де t – вік бетону до моменту визначення міцності, доб;

τ – вік бетону в момент навантаження, доб.

Якщо прийняти в (7), що $(t - \tau) = 18250$ доб (50 років), то тривала міцність з'єднання становить 0,75 від короточасної міцності.

Експериментальні дослідження з визначення тривалої міцності з'єднань бетонних елементів при стиску проводилися на цілих і з'єднаних зразках-призмах розмірами 100x100x400 мм, товщина клейового шва становила 3, 6 і 9 мм. Усі зразки були об'єднані відповідно у дві групи. Першу групу склали цілі й склеєні зразки-призми з бетону класу В12,5, а другу – В25, що дало змогу одержати значний експериментальний матеріал.

Основною метою експериментальних досліджень було одержання відсутніх у технічній і нормативній літературі даних про вплив часу дії постійного навантаження на міцність і модуль пружності.

Для проведення тривалих випробувань цілих і з'єднаних акриловим клеєм зразків на стиск були використані спеціальні установки – УДИ-60 (рис. 2).

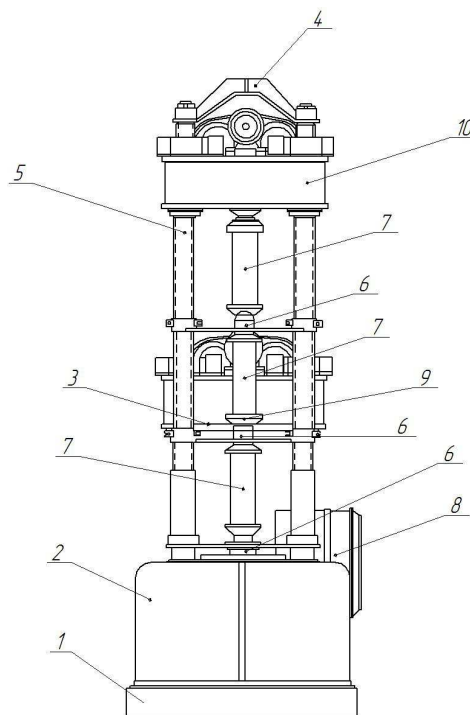


Рис. 2. Схема установки УДИ-60 для тривалих випробувань зразків клейових з'єднань на стиск:

1 – станина, 2 – рама, 3 – напрямна, 4 – перемичка, 5 – гвинт, 6 – мездоза, 7 – випробувальний зразок, 8 – електродвигун, 9 – кульова опора, 10 – верхня траверса

У кожен з установок поміщали по три цілих або з'єднаних акриловим клеєм випробувальних зразка-призми одного класу бетону. Процес навантаження до прийнятого рівня напруг займав 3...5 хв. Зусилля у випробувальних установках створювали за допомогою гідравлічного насоса і його приймали постійними у часі, тобто $\sigma_u = \text{const}$. Рівень напруг був прийнятий (на підставі даних короточасних випробувань випробувальних зразків) для трьох зразків кожної серії відповідно: 0,95; 0,88; 0,84 від короточасної міцності.

Отримані експериментальні величини описуються залежністю, МПа,

$$\sigma = -\frac{\ln\left(\frac{\tau}{A}\right)}{\alpha}, \quad (8)$$

де τ – довговічність, год;

A – постійна для прийнятого класу бетону, год;

α – постійна для прийнятого класу бетону, МПа⁻¹.

У залежності (8) A і α мають для з'єднаних акриловим клеєм елементів з бетону класу В12,5 значення відповідно $1,5 \cdot 10^{22}$ і $\alpha = 4$, а для з'єднань із бетону класу В25 – $1,15 \cdot 10^{29}$ і $\alpha = 2,8$.

Необхідно відзначити, що при тривалій дії постійного навантаження межа міцності всіх випробувальних зразків-призм (як цілих, так і склеєних) менше, ніж

при короткочасному навантаженні. Крім того, випробовувані зразки протягом усього періоду дії навантаження мали мінімальні відхилення від середніх величин міцності й часу, які не перевищували $\pm 5\%$.

Висновки. Результати проведених досліджень дають змогу зробити висновок про те, що акриловий клей має зміцнюючий вплив на бетон. Зміцнюючий вплив клейового шва є додатковим резервом міцності клейового з'єднання бетонів, що забезпечують надійність стиків [12].

Надалі передбачається провести дослідження тривалої міцності при динамічних навантаженнях.

Список використаних джерел

1. Использование акриловых клеев для реконструкции и ремонта зданий и сооружений [Текст] / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, А.О. Гарбуз, С.М. Золотов // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2008. – Вип. 61. – С. 341-342.
2. Золотов, М.С. Акриловые клеи для усиления, восстановления и ремонта бетонных и железобетонных конструкций [Текст] / М.С. Золотов, Н.А. Псурцева // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: НДІБК, 2003. – Вип. 59. – С. 440-447.
3. Фрейдин, А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений [Текст] / А.С. Фрейдин. – М.: Химия, 1981. – 270 с.
4. Пособие по расчетным характеристикам клеевых соединений для строительных конструкций [Текст]. – М.: ЦНИИСК, 1982. – 66 с.
5. Бабич, Є.М. Бетонні та залізобетонні елементи в умовах малоциклових навантажень [Текст] / Є.М. Бабич, Ю.В. Крусь. – Рівне, 1999. – 119 с.
6. Золотов, М.С. Обеспечение прочности соединения бетона акриловыми клеями при ремонте и реконструкции зданий и сооружений [Текст] / М.С. Золотов, Н.А. Псурцева // Реконструкция и капитальный ремонт зданий и сооружений. – К.: Вузполиграфиздат, 1999. – С. 38-47.
7. Золотов, М.С. Соединение бетонных элементов акриловым клеем [Текст] / М.С. Золотов, Н.А. Псурцева // Метрострой. – 1996. – № 6. – С. 9.
8. Рекомендации по обеспечению надежности и долговечности железобетонных конструкций промышленных зданий и сооружений при их реконструкции и восстановлении [Текст] / Харьковский Промстройпроект. – М.: Стройиздат.1990. – 176 с.
9. Крепление оборудования к готовым фундаментам [Текст] / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, Ю.М. Смолянинов [и др.]. – Харьков: НТО Стройиндустрия, 1992. – 37 с.
10. Журков, С.Н. Временная зависимость прочности твердых тел [Текст] / С.Н. Журков // Журнал технической физики. – 1953. – Т. XXIII. – Вып. 10. – С. 11-25.
11. Журков, С.Н. Исследование прочности твердых тел [Текст] / С.Н. Журков, Э.Е. Томашевский // Журнал технической физики. – 1955. – Т. XXX. – Вып. 10. – С. 36-47.
12. Мельман, В.А. Длительная прочность и деформативность центрально сжатых бетонных элементов, соединенных акриловым полимерраствором [Текст] / В.А. Мельман,

М.Ю. Смолянинов // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: зб. наук. праць. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2003. – Вип. 9. – С. 257-263.

13. Яшин, А.В. Прочность и деформации бетона при различных скоростях загрузки [Текст] / А.В. Яшин // Воздействие статических, динамических и многократно повторяющихся нагрузок на бетон и элементы железобетонных конструкций: научн.-техн. сб. НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1972. – С. 23-39.

14. Samorodov A.V., Tabachnikov S.V. A New Method of Determining Pile Skin Friction Forces that Considers the Direction of Vertical Load, Article Soil Mechanics and Foundation Engineering, January 2016, Volume 52, Issue 6, pp 329-334.

Рецензент д-р техн. наук, професор Л.В. Трикоз

Пустовойтова Оксана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07.

Камчатна Світлана Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри колії та колійного господарства Українського державного університету залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-10-67.

Псурцева Ніна Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07.

Литвинова Ганна Михайлівна, аспірант кафедри будівельних конструкцій Харківського національного університету міського господарства ім. О.М.Бекетова. Тел.: (057) 707-31-07.

Pustovoitova Oksana, Ph.D., Associate Professor of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N.Beketov, Kharkiv, Ukraine.

Kamchatna Svitlana, Ph.D., Associate Professor of «Track and Track Facilities» department, Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

Psurtseva Nina, Ph.D., Associate Professor of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N.Beketov, Kharkiv, Ukraine.

Lytvynova Ganna, postgraduate of «Building construction» department, Kharkov National University of the municipal economy, named A.N.Beketov, Kharkiv, Ukraine.

Прийнята 25.02.2016 р.